

Е. Д. Копнова, О. М. Розенталь

Анализ эффективности водно-экологического менеджмента в условиях интенсивной антропогенной нагрузки

В данной статье приведены результаты эконометрического исследования системы управления природными водными ресурсами на примере участка реки Исеть (Свердловская область). Продемонстрирован низкий уровень эффективности этой системы в рассматриваемый период и обоснованы основные пути ее совершенствования.

Введение. Актуальность исследования

Россия, занимая первое место в мире по запасам пресной воды, имеет шанс доминировать на рынке водоемкой продукции. Однако достижение этой цели невозможно в существующих условиях законодательно оформленного приоритета экономических выгод над экологическими ущербами. Требования водоохранного законодательства таковы, что сброс кубометра загрязненной воды обходится водопользователям в 25 коп., а эксплуатация очистных сооружений — в 5 руб., поэтому ни один здравомыслящий инвестор не будет вкладывать средства в строительство водоочистных сооружений. В результате нарастает деградация водных объектов, приводящая к нарушению экосистем и истощению водных ресурсов. Например, экономический ущерб от загрязнения водных объектов в 1999–2003 гг. оценивался в 35 млрд руб. в год [Данилов-Данильян, Лосев (2006)].

В целях обеспечения устойчивого водопользования ведомство Минприроды России разработало долгосрочные программные документы — это «Государственная стратегия использования, восстановления и охраны водных объектов России», «Концепция совершенствования и развития государственного управления использованием и охраной водных ресурсов и водохозяйственным комплексом Российской Федерации». Реализуется ряд федеральных проектов совершенствования водопользования, в частности, с использованием индикаторов устойчивого развития [Бобылев (2007)]. Однако практическая реализация этих стратегических программ затруднена в связи с тем, что на законодательном уровне нормативное обеспечение водопользования не согласовано с рыночными механизмами и региональными особенностями. Необходимость соответствующих поправок в системе технического регулирования водопользования¹ требует разработки методик эколого-социально-экономического обоснования соотношения «цена/качество» для типовых водных систем.

¹ Водный кодекс Российской Федерации (утвержден 3 июня 2006 г.), Федеральный закон «Об экологической экспертизе» (принят 19 июля 1995 г.).

1. Постановка задачи

Система современного водно-экологического менеджмента (рис. 1) регламентируется нормативно-правовыми актами, предоставляющими субъектам хозяйствования ограниченное право на отведение загрязненных сточных вод, которое зависит от качества водного объекта. Плата за такое водоотведение в бюджеты разного уровня складывается из ренты и экологического налога на сбросы загрязняющих веществ, причем часть средств, поступивших в бюджет субъекта Федерации, формирует фонд восстановления водных объектов.

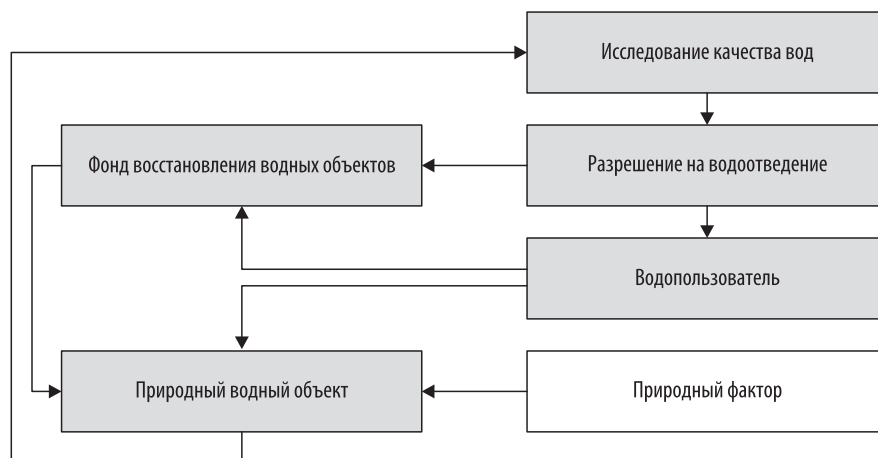


Рис. 1. Система водно-экологического менеджмента

Критерием эффективности водно-экологического менеджмента является обеспечение приемлемого качества природных вод, поэтому задача состоит в оценке управляющего воздействия на водный объект и его оптимизации по этому критерию. Основными факторами влияния являются антропогенная нагрузка на речные воды, восстановление и защита речных вод. В силу большой степени неопределенности в сфере распределения денежных средств можно говорить о независимости этих факторов. Исследуется также роль природного фактора.

Нормативы качества природных вод — как, например, предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющего вещества² — устанавливаются в зависимости от направления использования водоема: хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое либо рыбохозяйственное назначение. При этом оценивается степень отклонения фактической концентрации определенного вещества от ПДК или от уровня исторически сложившегося в водном объекте природного фона³. Используется также биотическая концепция экологической оценки [Левич и др. (2004)], согласно которой состояние водного объекта оценивается по результатам биологического мониторинга с учетом всего комплекса загрязнителей.

² ПДК загрязняющего вещества — максимальная концентрация загрязняющего вещества в воде водного объекта, при которой не возникает последствий, снижающих рыбохозяйственную ценность в ближайшее время и в перспективе или затрудняющих его рыбохозяйственное использование.

³ Природный фон — концентрация загрязнителя в воде, не подвергавшейся техногенным нагрузкам.

2. Исходные данные

Задача решалась на примере водопользования на участке реки Исеть⁴. Для анализа использовались результаты измерений, которые были получены на гидрохимических постах (створах) Гидрометслужбы, расположенных вдоль реки на территории Свердловской области⁵ (рис. 2), в течение 1986–1997 гг. Анализировались значения ежемесячных наблюдений по 52 показателям, полученным на 10 створах за 12 лет.

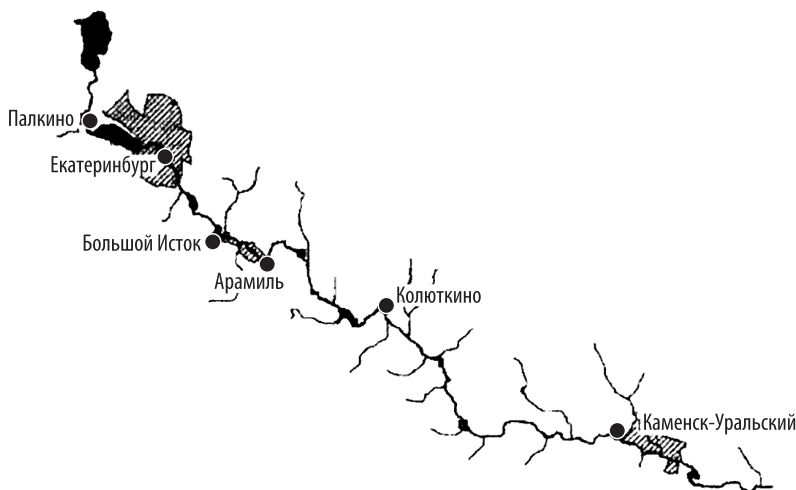


Рис. 2. Гидрографическая схема участка реки Исеть⁶

Уровни антропогенной нагрузки вблизи створов, а также природные особенности местонахождения створов существенно различались. Кроме того, приведенные данные относятся к периоду перестройки экономики, поэтому отражают специфику ее динамики.

Антропогенное воздействие на водный объект было представлено данными о годовых сбросах загрязняющих веществ в межстворных участках реки и о годовых инвестициях на водоохраные мероприятия, полученными из государственных докладов о состоянии и использовании водных ресурсов, а также из отчетов крупных предприятий, расположенных вдоль русла реки⁷.

3. Содержание исследования

Суть исследования сводилась к следующим направлениям:

1) формирование интегрального показателя качества речной воды на базе гидрохимических показателей;

⁴ Река Исеть берет начало в 25 км к северо-западу от Екатеринбурга, относится к бассейну реки Оби. Исеть является объектом рыбохозяйственной деятельности, входит в десятку наиболее загрязненных рек России.

⁵ Данные предоставлены сотрудниками РосНИИВХ МПР России.

⁶ Кружками обозначены действующие гидрохимические посты.

⁷ Данные предоставлены Уральским центром стандартизации и метрологии — ФГУ «УРАЛТЕСТ».

- 2) регрессионный анализ панельных данных:
 - а) исследование степени влияния сбросов сточных вод и инвестиций в водоохранную деятельность на качество речных вод;
 - б) учет воздействия природного фактора очищения на качество воды;
 - в) динамические модели.

4. Характеристика качества речных вод

Для формирования интегральной характеристики качества речных вод массивы значений показателей, характеризующих загрязнение по каждому створу, подвергались факторному анализу. При использовании метода главных компонент (с варимаксным вращением корреляционной матрицы) для анализа показателей загрязнения было выделено 3 основных фактора, ответственных почти за 50% общей дисперсии. Результаты отличались по створам лишь долями дисперсий, соответствующими этим факторам. Фактор 1 существенно проявляется в органических веществах, фактор 2 — в минерализации, фактор 3 — в цветных металлах и во взвесах.

Достаточно высокое проявление фактора 3 во взвесах свидетельствует о преобладающей адсорбции на них ионов цветных металлов. Это позволяет рекомендовать простой способ очистки воды от таких высокотоксичных компонентов речной воды. В частности, можно ограничиться сравнительно недорогим методом отфильтровывания взвешенного компонента, вместе с которым удалится и основная доля примесей цветных металлов.

Более детально исследовались типичные представители главных компонент в связи с их степенью воздействия на биоценоз. По всем створам наблюдались отчетливые сезонные колебания (рис. 3), причем наиболее высокие значения соответствовали весеннему и осеннему периодам. Кроме того, по всем створам отсутствовал заметный тренд для органических веществ и показателей минерализации, а также имела место положительная тенденция загрязнения металлами (медь, железо).

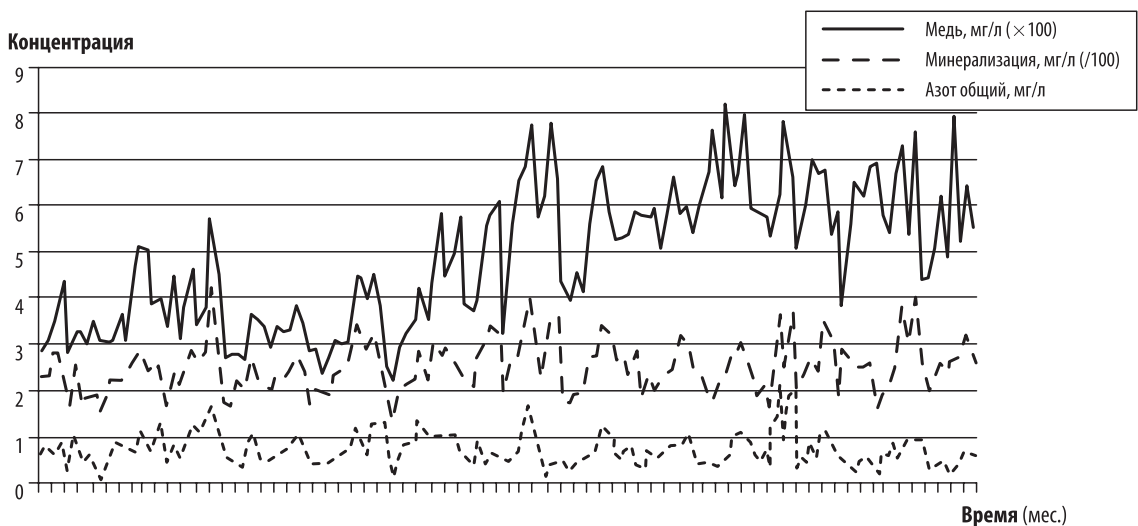


Рис. 3. Основные показатели загрязнения (створ 2 — Екатеринбург)

Снижение концентрации меди наблюдалось в 1989–1990 гг., которые характеризовались общим кризисом производства в области, а в последние годы отмечаются некоторая стабилизация этого показателя.

Поскольку река Исеть относится к водным объектам рыбохозяйственного значения, к ней применимы эколого-рыбохозяйственные нормативы ПДК. Поэтому интегральный показатель качества Q определялся как сумма отношений фактической концентрации к ПДК элементов, относящихся к группе токсичных веществ (медь, никель, хром, алюминий):

$$Q = \sum_i \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где C_i , ПДК_i — соответственно фактическая и предельно допустимая концентрации i -го элемента.

5. Исследование степени влияния сбросов сточных вод и инвестиций в водоохранные мероприятия на качество речных вод

Была поставлена задача: оценить зависимость показателя качества воды (Q , единиц ПДК), отражающего среднегодовой уровень загрязнения реки, от инвестиций в водоохранные мероприятия по очистке сбросов промышленных предприятий (INV , млн руб. в год), сбросов сточных вод ($TECH$, т в год). В связи с разбросом в значениях коэффициента корреляции (табл. 1) между результативным показателем и каждым из факторов возникла необходимость применить регрессионный анализ по панельным данным. Из анализа были исключены данные наблюдений по трем створам, проводимых только в последние 7 лет. Таким образом, изучались лишь сбалансированные панели.

Таблица 1

Уровень корреляции факторов с показателем качества воды

Коэффициент корреляции	Створы						
	1	2	3	4	5	6	7
	Палкино	Екатеринбург	Большой Исток	Арамиль	Колютино	Выше Каменск-Уральского	Ниже Каменск-Уральского
$r(Q, TECH)$	0,99	0,91	0,84	0,38	0,03	0,24	0,03
$r(Q, INV)$	–0,92	–0,82	–0,78	–0,95	–0,02	–0,96	–0,81

Наиболее адекватной оказалась модель с фиксированными эффектами по створам и во времени:

$$Q_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 TECH_{it} + \beta_2 INV_{it} + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim iid(0, \sigma_\varepsilon^2).$$

Расчеты проводились в среде Eviews 5.0. Случайные эффекты были исключены из рассмотрения после тестирования моделей с эффектами во времени. Тест Хаусмана для этих моде-

лей свидетельствует в пользу фиксированных эффектов: $\chi^2(2) = 25,06$, $Prob = 0,0000$. Результаты оценивания параметров и тестирования модели, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о приемлемом качестве модели.

Таблица 2

Результаты оценивания и тестирования основной модели

Переменная	Оценка коэффициента				Стандартная ошибка				Р-значение			
C^8	31,836				1,737				0,000			
TECH	0,782				0,069				0,000			
INV	−0,083				0,049				0,093			
$R^2 = 0,91 \quad DW = 1,70$												
Тест Льюнга—Бокса												
Q-статистика	0,31	1,88	2,58	2,79	3,85	4,49	4,73	7,50	8,04	8,13	8,14	
Р-значение	0,57	0,38	0,46	0,59	0,57	0,61	0,69	0,48	0,53	0,61	0,70	
				χ^2 -статистика			Число степеней свободы			Р-значение		
Тест на наличие фиксированных эффектов				166,08			17			0,000		
RESET-тест				2,07			1			0,151		
Тест Бреуша—Пагана				1,40			2			> 0,100		
Тест Джарка—Бера				1,41			2			0,494		

При интерпретации модели были выявлены следующие факты:

- уровень фонового загрязнения воды, не связанного с анализируемыми факторами, превышает ПДК более чем в 30 раз, что отражает геохимические особенности водного объекта (влияние «хозяйки Медной горы»);
- средств, выделяемых на защиту вод, недостаточно для восстановления их до установленного эколого-рыбохозяйственного норматива, поскольку общая фактическая сумма инвестиций не превышает 200 млн руб. в год, а стоимость очистки до уровня ПДК в соответствии с моделью составляет около 3 млрд руб. в год. Если учесть, что уровень природного (естественного) фона на реке Исеть установлен в пределах 25 ПДК, то напрашивается вывод о том, что реальнее решать задачу вывода этой реки из категории водных объектов рыбохозяйственного назначения, чем наращивать мощности для ее очистки до уровня ПДК;
- при сопоставлении средних эластичностей для анализируемых факторов ($E_{TECH} = 0,1780$ и $E_{INV} = -0,062$) выясняется, что денежные средства направляются на очистку только $1/3$ сбросов, т. е. человек остается в долгу у природы;

⁸ Модели оценивались с константой C таким образом, что суммы эффектов по створам и во времени равны нулю: $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 0$, $\sum_{t=1}^T \lambda_t = 0$.

• оценки эффектов адекватно отражают структуру загрязнения речной воды по створам и особенности ее изменения во времени (табл. 3 и 4). Независимо от рассматриваемых факторов чище всего в дачной местности Палкино (створ 1), грязнее всего — в наиболее удаленном от Екатеринбурга городе-спутнике Арамиле (створ 4). Относительно малое фоновое загрязнение в годы начала перестройки экономики достигает максимума в переломный период «дикого капитализма», а затем следует стабилизация ситуации.

Таблица 3

Фиксированные эффекты во времени

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Год	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
λ_t	-3,68	-5,77	-9,72	-9,54	-9,74	-2,66	7,37	9,72	5,95	4,83	6,44	6,80

Таблица 4

Фиксированные эффекты по створам

i	1	2	3	4	5	6	7
Населенный пункт	Палкино	Екатеринбург	Большой Исток	Арамилы	Колютино	Выше Каменск-Уральского	Ниже Каменск-Уральского
α_i	-13,74	1,57	8,99	13,97	-3,15	-5,33	-2,31

6. Учет воздействия природного фактора самоочистки на качество воды

К природным факторам самоочистки обычно относят показатель осаждения взвесей, а также уровень разбавления концентрации загрязнителей в результате притоков и дождей. В данной задаче учитывался только первый фактор ($LAND$, τ) как наиболее весомый. Его значения определялись расчетно с учетом разницы концентрации взвесей на смежных створах и скорости течения. Принималась модель постоянной интенсивности самоочистки, согласно которой масса осаждаемого загрязнения на участке реки между створами пропорциональна межстворному расстоянию.

Была построена регрессионная модель по панельным данным, включающая наряду с указанными выше регрессорами третий фактор — показатель самоочистки. Неизменность во времени этого фактора не позволила идентифицировать модель с фиксированными эффектами по створам в силу коллинеарности его с манекенами. При использовании метода Хаусмана—Тейлора не удалось подобрать подходящих инструментальных переменных. Поэтому створы были объединены в две группы — «промышленную» и «сельскую», базовой группой считался створ 1 (Палкино). Рассматривалась модель с фиксированными индивидуальными эффектами во времени и с групповыми эффектами по створам с использованием соответствующих манекенов R_1 и R_2 . Результаты оценивания параметров и тестирования модели приводятся в табл. 5.

Результаты оценивания и тестирования модели с учетом самоочистки

Переменная	Оценка коэффициента			Стандартная ошибка				Р-значение					
C	19,853			2,161				0,000					
TECH	0,685			0,066				0,000					
INV	−0,112			0,042				0,010					
LAND	−1,738			0,275				0,000					
R ₁	27,607			2,302				0,000					
R ₂	21,829			3,232				0,000					
R ² = 0,88 DW = 1,25													
Тест Льюнга—Бокса													
Q -статистика	9,30	10,48	14,13	14,95	15,16	15,17	15,18	15,64	15,64	16,35	16,36		
P-значение	0,002	0,005	0,003	0,005	0,010	0,019	0,034	0,048	0,075	0,090	0,128		
				χ ² -статистика	Число степеней свободы				Р-значение				
Тест на наличие фиксированных эффектов				79,01		11				0,000			
RESET-тест				1,16		1				0,281			
Тест Бреуша—Пагана				8,84		3				> 0,025			
Тест Джарка—Бера				0,19		2				0,908			

Оценки коэффициентов при манекенах правдоподобно отражают вклад загрязнения, соответствующий указанным группам. Сравнительно высокое значение эластичности фактора самоочистки ($E_{TECH} = 0,144$; $E_{INV} = -0,208$; $E_{LAND} = -0,228$) указывает на ее высокую эффективность и, как следствие, на более рациональное направление использования инвестиций. Экономичнее использовать деньги на «помощь природе», повышая способность речной среды к самоочистке путем регулирования ее фарватера, укрепления берегов, восстановления гидротехнических сооружений (плотины, дамбы и шлюзы), чем вкладывать их только в очистные сооружения. Превышение значения эластичности фактора самоочистки над значением эластичности техногенных сбросов согласуется с высоким уровнем природного фона загрязнения.

7. Динамические модели

Оценивались модели с распределенными лагами первого, второго и третьего порядка для инвестиций. Коэффициенты при соответствующих лагированных переменных $INV(-1)$, $INV(-2)$, $INV(-3)$ оказались незначимыми. Возможно, это соответствует тому, что вкладываемые инвестиции являлись «короткими» и значимость превентивных мероприятий невелика, либо

прошлые инвестиции себя не проявили в текущем периоде. В табл. 6 приводятся результаты оценивания модели с лагом первого порядка $INV(-1)$.

Таблица 6

Результаты оценивания и тестирования модели с лагом первого порядка

Переменная	Оценка коэффициента			Стандартная ошибка				Р-значение		
C	31,557			2,156				0,000		
TECH	0,788			0,072				0,000		
INV	−0,071			0,050				0,163		
INV(−1)	0,008			0,046				0,857		
R ² = 0,92 DW = 1,95										
Тест Льюнга—Бокса										
Q -статистика	0,03	0,42	0,59	1,19	2,45	4,11	4,12	5,55	5,63	5,63
P_значение	0,86	0,81	0,90	0,88	0,78	0,66	0,77	0,70	0,78	0,85
				χ ² -статистика	Число степеней свободы			Р-значение		
Тест на наличие фиксированных эффектов				157,07		16		0,000		
RESET-тест				1,66		1		0,197		
Тест Бреуша—Пагана				1,34		3		> 0,100		
Тест Джарка—Бера				0,92		2		0,631		

Рассматривалась также авторегрессионная модель первого порядка с основными факторами. Модель оценивалась с помощью перехода к первым разностям при использовании обобщенного метода моментов. Учитывались эффекты по створам и во времени. Инструменты для оценки подбирались с учетом минимизации стандартной ошибки регрессии.

Таблица 7

Результаты оценивания и тестирования авторегрессионной модели

Переменная	Оценка коэффициента	Стандартная ошибка	P-значение
$Q(-1)$	-0,1514	0,1880	0,4333
$TECH$	0,3309	0,1281	0,0208
INV	-0,2223	0,0765	0,0109
$R^2 = 0,78 \quad DW = 2,13$			

Исходя из результатов оценивания (табл. 7) можно сделать вывод, что влияние прошлогоднего уровня загрязнения на каждом створе незначимо. Это можно объяснить естественным переносом загрязнений в потоке речной воды. По сравнению со статической моделью в долгосрочной динамике инвестиции проявляются существеннее, что соответствует инерционности инвестиционного процесса.

Заключение

К основным результатам эколого-эконометрического исследования водохозяйственного менеджмента в зоне реки Исеть относятся выявление низкого уровня его эффективности, соответствующего неблагоприятному состоянию речной воды, а также обоснование явных причин такого неблагоприятия.

Проведенный анализ данных позволил:

- выделить основные группы загрязняющих веществ, характерные для данного водного объекта, и обосновать выбор наиболее рационального способа очистки исследуемых речных вод;
- оценить дефицит водно-экологических инвестиций, достигающий для Исети сотен миллионов рублей;
- выявить чрезмерно высокий уровень превышения природного фона на исследуемом участке над ПДК, что не позволяет при очистке достичь нормативного качества воды;
- обосновать целесообразность переориентации инвестиций от «очистки на трубе» к гидротехническим мероприятиям для восстановления водного объекта;
- указать на преобладание «коротких» инвестиций и недостаточную роль превентивных мероприятий по очистке воды.

В целом исследование позволило установить направления пересмотра системы водно-экологического менеджмента на региональном уровне.

Список литературы

- Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 2001.
- Бобылев С. Н. Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение. М.: Акрополь. Центр экологической политики России, 2007.
- Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Потребление воды. Экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006.
- Вербик М. Путеводитель по современной эконометрике. Пер. с англ. М.: Научная книга, 2008.
- Левич А. П., Булгаков Н. Г., Максимов В. Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИИ-Природа, 2004.
- Green W. H. Econometric Analysis. 5-th ed. Prentice Hall International, Inc., 2003.